ChinaXiv合作期刊

doi:10.13866/j.azr.2019.01.14

民勤绿洲外围不同立地类型黑果枸杞种群分布格局①

马俊梅[1,2]， 郭春秀[1,2]， 何芳兰[2]， 金红喜[2]， 赵 鹏[1,2]，
满多清[2]， 张锦春[2]
（1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室，甘肃 武威 733000；2. 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730000）

摘 要：通过测定石羊河下游民勤绿洲外围4个不同立地类型黑果枸杞群落植被特征和黑果枸杞株数、株高、冠幅等生物学特征，以及黑果枸杞分布格局的点坐标，采用空间点格局分析方法中的 Ripley's K 函数，分析了民勤绿洲外围不同立地类型上黑果枸杞空间分布格局。结果表明：① 4个不同立地类型中植被物种数为：砾石地 > 盐碱地 > 固定或半固定沙丘地、覆沙地，植物群落结构比较简单，存在多个科单属单种现象。② 黑果枸杞株数在盐碱地中最多，覆沙地次之，固定或半固定沙丘地和砾石地中最少；而平均株高由高到低依次是固定或半固定沙丘地、盐碱地、覆沙地、砾石地；平均冠幅分布与平均株高类似。③ 在4个样地中，固定或半固定沙丘地和砾石地中的黑果枸杞呈现聚集分布；覆沙地中，黑果枸杞在较小尺度（0.2～0.5 m）呈现聚集分布，在较大尺度（1.5～2.5 m）呈现随机分布；盐碱地中，黑果枸杞种群表现为完全的随机分布。

关键词：立地类型；黑果枸杞；群落特征；分布格局；Ripley's K 函数；民勤绿洲

chinaXiv:201909.00123v1

黑果枸杞（*Lycium ruthenicum* Murr.）也称苏枸杞，茄科（Solanaceae）枸杞属（*Lycium*），为耐盐、抗旱落叶灌木。中亚、高加索和欧洲都有分布，中国主要分布于陕西北部、宁夏、甘肃、青海、新疆和西藏等地，在中国西北荒漠地区呈片状分布[1]。常生于盐碱荒地、沙地或路旁，是石羊河下游重要植被建群种之一。黑果枸杞属典型的根蘖类植物，除了种子繁殖外，其根的繁殖能力也很强，发达的根系增加了黑果枸杞在自然环境中的生存能力和扩散特性[2]。以其为优势种的灌木群落对维持石羊河下游荒漠生态系统具有重要作用。已有学者对其生长发育、繁殖育苗、抗旱性、营养成分及保健功能等方面进行了大量研究[3－10]；对黑果枸杞群落特征及生物多样性方面也有研究[11]。但对石羊河下游民勤绿洲外围黑果枸杞种群分布格局的研究尚未见报道。

空间格局是植物种群的基本特征，是种群自生特性、种间关系和环境条件作用下的结果。研究植物种群的空间格局有助于认识其生态过程及其与环境的相互关系[12]。点格局分析方法是以植物种群个体的空间坐标为基本数据，以其分布的位点图为基础进行格局分析的方法[13]。目前最为常用的方法为 Ripley's K 函数[14]，该方法经许多学者的不断完善，已广泛运用于植物种群与森林景观等方面的研究[15－18]。本文通过对石羊河下游民勤绿洲外围不同立地类型中黑果枸杞在微观尺度下的点格局分布进行调查，利用空间点格局分析方法中 Ripley's K 函数，对其成因进行分析，以期更好地了解石羊河下游民勤绿洲外围荒漠化地段黑果枸杞在不同立地类型中的生态学特性和生态学过程，为荒漠化防治和植被恢复提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于石羊河流域下游民勤绿洲外围的荒漠地段，属温带大陆性荒漠气候区，地理位置103°02′～104°02′E，38°05′～39°06′N，海拔1 306～1 345 m；年平均气温7.6 ℃，极端最高气温38.1 ℃，极端最低气温－28.8 ℃，年日照时数2 832.1 h；研究区年平均降水量110 mm，主要集中在7—9月，年平均蒸发量2 604.3 mm，是降水量的23.6

① **收稿日期**：2018－03－19； **修订日期**：2018－07－29
基金项目：国家自然科学基金项目（31560128，31460069）；甘肃省重点研发项目（17YF1FA113）；甘肃省林业科技推广项目（[2016]ZYTG6）；甘肃省基金项目（18JR3RA018）资助
作者简介：马俊梅（1968－），女，高级工程师，学士，主要从事植被修复及荒漠化防治. E-mail：gsmqyz@tom.com
通讯作者：郭春秀. E-mail：guochunxiu0414@163.com

ChinaXiv合作期刊

表 1　民勤绿洲外围黑果枸杞种群调查样地特征

Tab. 1　Features of the sample plots of *Lycium ruthenicum* population in the periphery of the Minqin Oasis

样地类型	样 地	经纬度	海拔/m	样地特点
覆沙地	丰庆滩	38°45′51″N, 103°30′47″E	1 326	湖积平原,土壤为沙土或黏土,黑果枸杞群落与盐爪爪群落交错分布,长势良好
盐碱地	青土湖	39°03′09″N, 103°36′15″E	1 306	退耕地,盐碱土,黑果枸杞为优势种,主要伴生种为芦苇,长势良好
砾石地	莱菔山	38°49′39″N, 102°56′53″E	1 345	山前冲洪积扇,砾石戈壁边缘,在冲沟边缘或低洼滩地分布黑果枸杞,生长一般
固定或半固定沙丘	西沙窝	38°58′07″N, 103°06′09″E	1 324	固定或半固定沙丘,土壤以风沙土为主,黑果枸杞种群分布在白刺沙包及丘间地,长势良好

倍;全年风沙日数达 83 d,年平均风速 2.3 $m \cdot s^{-1}$,最大风速 23.0 $m \cdot s^{-1}$。唯一的地表水资源是由南部流入石羊河,近年来,随着中、上游水资源的开发利用,流入下游民勤绿洲的水量逐年减少,1999 年达到历史最低值[19],区域内地下水位下降速度较快。区域气候条件严酷,自然植被分布稀疏,生长缓慢;物种数量少,结构简单,以旱生灌木、半灌木和一年生草本为主,其中灌木主要有黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、红砂(*Reaumuria songarica*)等,草本主要有盐生草(*Halogeton glomeratus*)、五星蒿(*Bassia dasyphylla*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、蝶果虫实(*Corispermum patelliforme*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)、黄花矶松(*Limonium aureum*)、西伯利亚滨藜(*Atriplex sibirica*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*)、芦苇(*Phragmites australis*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)等。土壤多为灰棕漠土或石膏灰棕漠土,部分地区有沙化现象,土壤表层紧实,剖面发育微弱。根据研究区的土壤类型和地貌特点,将黑果枸杞种群分布划分为砾石地、覆沙地、固定或半固定沙丘地和盐碱地[20]等 4 种立地类型(表 1)。

1.2　样地调查

2016 年 7 月,在石羊河流域下游民勤绿洲外围对黑果枸杞分布情况进行了详细踏查,并根据土壤和植被特点,选择了气候条件一致,但立地类型不同(覆沙地、盐碱地、砾石地、固定或半固定沙丘地)的 4 个黑果枸杞群落为调查样地(图 1)。在每一调查样地的中心位置设置 50 m×50 m 的正方形为调查样地,每个样地内采用 5 点法设置 5 个 10 m×10 m 的大样方,用荒漠生态常规调查方法调查样方内的植物种类、高度、冠幅、数量等指标,草本植物调查采用 1 m×1 m 的小样方。同时,选择每个样地内 10 m×10 m 的中间位置样方和东南角位置样方共 8 个样方,以每个样方的西南角为坐标原点,相交于坐标原点的两条样方边界分别为 X 轴和 Y 轴,测量每株黑果枸杞到 X 轴、Y 轴的距离,将其转换为在样方中的坐标值,以进行点格局分析。

1.3　物种多样性测度

在野外采集样方调查数据的基础上,计算每种植物的盖度、多度和频度,进而计算出各种植物的重要值和多样性指数。

(1) 采用物种的生态重要值(important value index, IVI)测度群落种群组成,IVI 由物种的相对密度(Dr)、相对盖度(Cr)和相对频度(Fr)平均得到[21],即:IVI = (Dr + Cr + Fr)/3

Dr = (某种植物的密度/全部植物的密度总和)×100%

Cr = (某种植物的盖度/全部植物的总盖度)×100%

Fr = (某种植物的频度/所有种的频度总和)×100%

(2) 采用 Margalef 指数(D)衡量植物群落的丰富度:$D = (S-1)/\ln N$

(3) 采用 Shannon-Wiener 指数($\hat{H}$)[22]衡量植物群落物种多样性特征:

$$\hat{H} = 1 - \sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i$$

式中:$P_i = N_i/N$;S 为样方内总物种数;N_i 为样方中第 i 个物种的株数;N 为样方内所有物种的个体总数。

(4) 采用 Pielou 均匀度指数(E)[23]衡量植物群落物种的分布均匀程度:$E = \hat{H}_i/H_{max}$($\hat{H}$ 为物种多样性指数,即Shannon-Wiener指数,H_{max} 为样方内最

chinaXiv:201909.00123v1

ChinaXiv合作期刊

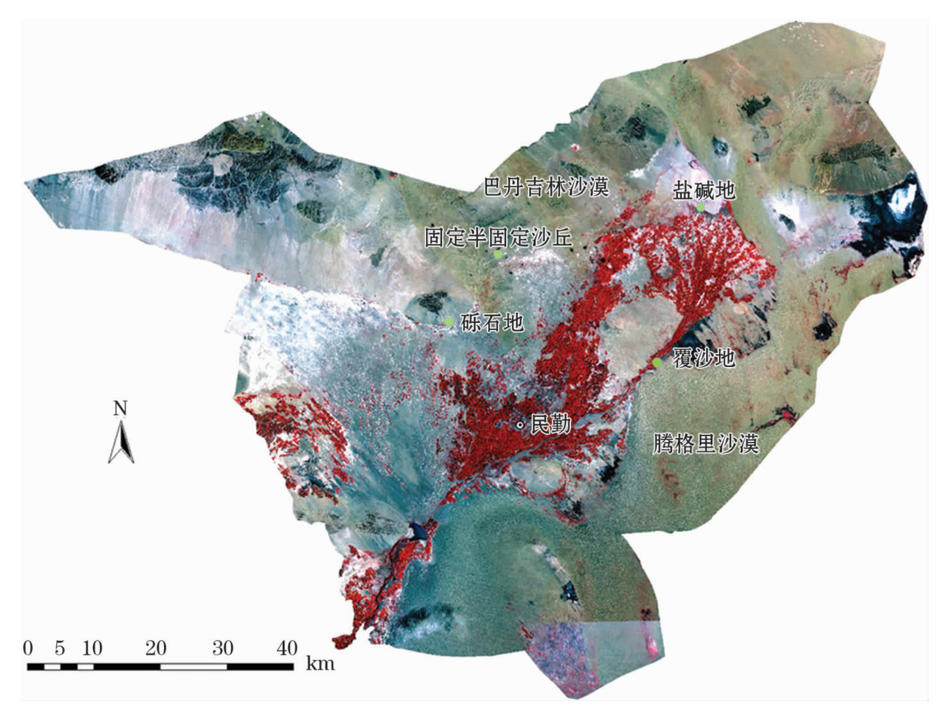


图 1 民勤绿洲外围黑果枸杞种群调查样地示意图

Fig. 1 Sample plots of *Lycium ruthenicum* population in the periphery of the Minqin Oasis

chinaXiv:201909.00123v1

大物种多样性指数，$H_{max} = \ln S$）。

1.4 点格局分析

Ripley's K 函数是较为常用的点格局分析函数，是以样方内某点为圆心，以一定长度为半径的圆内植物个体数的函数。计算公式表示为：

$$K(r) = A\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\frac{W_{ij}I_{ij}(r)}{n^2}$$

式中：i，j 分别表示不同的取样点；r 表示圆形区域的半径；A 表示样方面积；n 表示植物总数；$I_{ij}(r)$ 表示指示函数；设 d 表示任意两点之间的距离，当 $d \leq r$ 时，$I_{ij}(r)$ 为 1，当 $d > r$ 时，$I_{ij}(r)$ 为 0；W_{ij} 表示边缘效应校正的权重值，当以 i 为圆心，r 为半径的圆周全部位于样地内时 W_{ij} 值为 1，否则，W_{ij} 为该圆位于样地内的周长与整个圆周长的比值。

为了更直观地解释实际的空间格局，对 K 函数进行线性化和方差稳定矫正，即 Ripley's L 函数，计算公式为：

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}}$$

当 $L(r) = r$ 时，个体分布显示为完全空间随机（CSR）分布，当 $L(r) > r$ 时，个体分布为聚集分布，当 $L(r) < r$ 时为均匀分布。

为了确定计算结果偏离随机分布状态的显著性，采用蒙托卡罗方法（Monte Carlo simulation）进行显著性检验。具体方法是选取 n 个随机数，利用上述公式求解在不同距离尺度下的 $L(r)$ 值，共模拟计算 m 次，m 次计算结果的最大值和最小值之间的区间作为上下包迹线的取值范围，即黑果枸杞为随机分布的置信区间。置信水平由模拟次数 m 确定，置信水平 $\alpha = 1/(m+1)$。本文中，随机模拟的次数为 19 次，以此得到上下包迹线的 95% 置信区间。

1.5 数据统计与分析

利用 Excel 2007 对调查数据进行录入、整理和计算，使用 SPSS 20 软件对不同立地类型下黑果枸杞群落的丰富度、多样性和均匀度指数以及黑果枸杞的株高、冠幅等植被特征差异性进行单因素方差分析，差异显著性使用 Duncan 氏极差法检验。点格局分析部分的计算和分析采用 R－3.4.1 软件中 Spatstat 程序包进行[24－25]。

2 结果与分析

2.1 不同立地类型黑果枸杞群落物种组成和结构特征

2.1.1 研究区植被概况 调查结果表明，在研究样地中出现物种共计 12 科 24 属 28 种，其中藜科 6 属 7 种，蒺藜科 5 属 7 种，菊科 4 属 4 种，禾本 2 属 2

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00123v1

种,其余茄科、柽柳科、豆科、百合科、白花丹科、石竹科、十字花科、蝶形花科均为1属1种。在不同类型的样地中,砾石地物种组成数目最多,为21种,其次为盐碱地13种,固定或半固定沙丘地和覆沙地物种数目较少,均为7种。可见,该研究区植物群落结构比较简单,存在多个科单属单种现象,主要物种为能适应干旱盐碱化的藜科、蒺藜科等植物,无乔木层和高大灌木层。

2.1.2 不同立地类型黑果枸杞群落物种构成特征　从不同立地类型样地的物种组成来看(表2),黑果枸杞在不同群落中地位不同,但总体优势较为明显,对群落结构、生态系统功能及稳定性具有重要作用。在覆沙地和固定或半固定沙丘地中黑果枸杞为优势种,其重要值分别为22.61和38.05;在砾石地中画眉草为优势种,黑果枸杞为亚优势种,重要值为16.91;在盐碱地中优势种和亚优势种分别为五星蒿和盐生草,黑果枸杞为主要伴生种,重要值为17.64,且与其他伴生种重要值差异较大。

2.1.3 不同立地类型黑果枸杞群落的物种多样性特征　不同立地类型黑果枸杞群落物种丰富度、多样性和均匀度指数如图2所示。结果表明,砾石地物种丰富度指数(Margalef 指数)显著高于覆沙地、盐碱地和固定或半固定沙丘地($P<0.05$);从多样性指数(Shannon-Wiener 指数)来看,砾石地高于盐碱地,盐碱地高于覆沙地和固定或半固定沙丘地,且差异均具有统计学意义($P<0.05$),表明覆沙地和固定或半固定沙丘地的物种组成较为简单;不同立地类型黑果枸杞群落物种均匀度指数(Pielou 指数)差异不显著($P>0.10$)。

表2　不同立地类型黑果枸杞群落中主要物种重要值

Tab.2　Importance values of main species in *Lycium ruthenicum* community in different site types

立地类型	优势种	重要值	亚优势种	重要值	主要伴生种
覆沙地	黑果枸杞	22.61	猪毛菜	18.73	五星蒿、盐生草、白刺、西伯利亚滨藜
盐碱地	五星蒿	27.51	盐生草	25.73	黑果枸杞、红砂、黄花矶松、白刺、盐爪爪、骆驼蒿、西伯利亚滨藜
砾石地	画眉草	18.94	黑果枸杞	16.91	白刺、骆驼蒿、盐生草、砂蓝刺头、五星蒿、猪毛菜、泡泡刺、盐爪爪
固定或半固定沙丘	黑果枸杞	38.05	白刺	26.22	蝶果虫实、五星蒿、猪毛菜、芦苇、骆驼蒿

2.2　不同立地类型黑果枸杞的主要生物学特征

不同立地类型之间黑果枸杞株数、株高和盖度等种群生物学特征差异均显著($P<0.05$)(表3)。样方内(10 m×10 m)黑果枸杞株数从小到大依次为砾石地、固定或半固定沙丘地、覆沙地、盐碱地,且各立地类型之间差异均显著($P<0.05$);株高从小到大依次为砾石地、覆沙地、盐碱地、固定或半固定沙丘地,各立地类型间株高差异均显著($P<0.05$);覆盖度从小到大依次为覆沙地、砾石地和盐碱地、固定或半固定沙丘地,其中除了盐碱地和砾石地之间,各立地类型间冠幅差异均显著($P<0.05$)。

2.3　不同立地类型黑果枸杞空间点格局分析

应用$L(r)$函数分别对4个不同立地类型中用五点法设置的5个10 m×10 m样方的中间位置样方(样方1)和东南角样方(样方2)共8个样方内的黑果枸杞进行点格局分析(图3~6),图中阴影部分为蒙托卡罗方法模拟后得出的黑果枸杞呈随机分布的上下包迹线(CI=95%),$L(r)$函数曲线在阴影部分上方,说明黑果枸杞在该样地呈聚集分布,在阴影

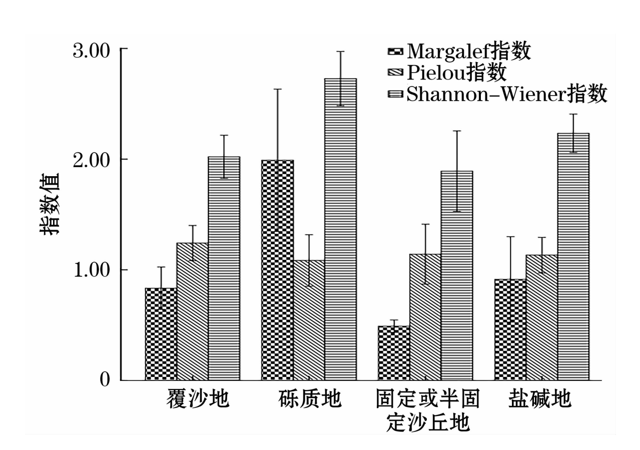


图2　不同立地类型黑果枸杞群落多样性指数

Fig.2　Biodiversity indexes of *Lycium ruthenicum* community in different site types

表3　不同立地类型黑果枸杞种群生物学特征

Tab.3　Biological characteristics of *Lycium ruthenicum* community in different site types

样地类型(10 m×10 m)	株数(平均值±标准差)	株高(平均值±标准差)/cm	冠幅(平均值±标准差)/cm
覆沙地	124.0±18.0c	21.3±10.52b	22.9±11.12a
盐碱地	190.0±22.0d	26.1±8.85c	30.9±9.17b
砾石地	39.0±2.30a	18.7±11.64a	26.9±14.58a
固定或半固定沙丘	60.6±15.3b	49.9±15.19d	51.5±14.98c

注:同列不同小写字母表示不同立地类型间差异显著($P<0.05$)。

ChinaXiv合作期刊

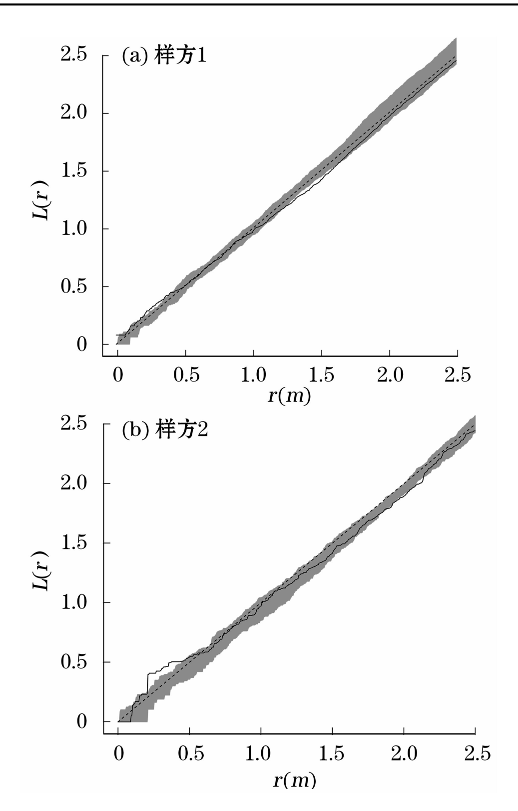


图 3 覆沙地黑果枸杞 *L* 函数结果

Fig. 3 Results of *L* function in the sandy land where *Lycium ruthenicum* grows

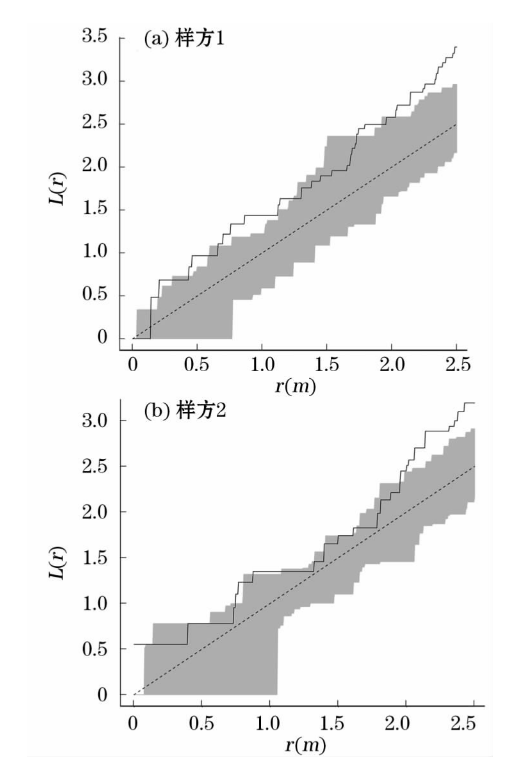


图 5 砾石地黑果枸杞 *L* 函数结果

Fig. 5 Results of *L* function in gravel land where *Lycium ruthenicum* grows

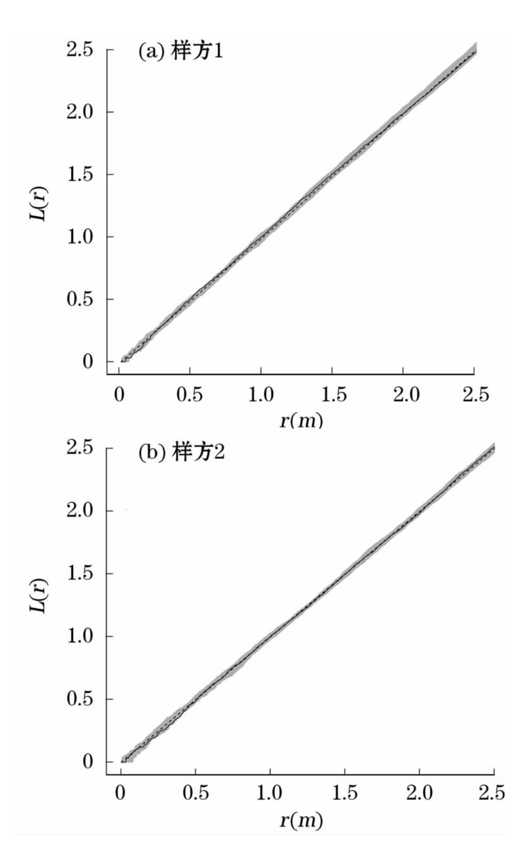


图 4 盐碱地黑果枸杞 *L* 函数结果

Fig. 4 Results of *L* function in saline and alkaline land where *Lycium ruthenicum* grows

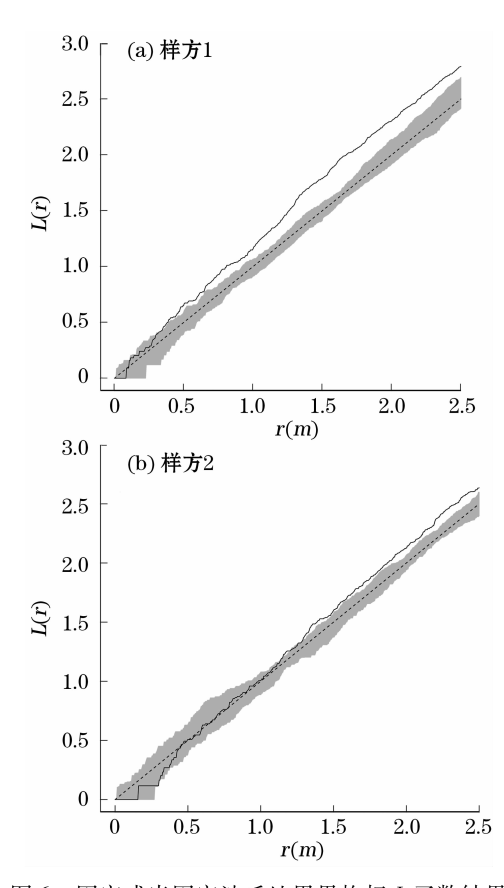


图 6 固定或半固定沙丘地黑果枸杞 *L* 函数结果

Fig. 6 Results of *L* function over fixed or semi-fixed desert where *Lycium ruthenicum* grows

chinaXiv:201909.00123v1

ChinaXiv合作期刊

部分内说明呈随机分布,在阴影部分下方说明呈均匀分布。L(r)函数的分析结果表明:

(1) 覆沙地样方 1 中,黑果枸杞在 0 ~0.2 m、0.4 ~1.4 m 和 1.6 ~2.5 m 尺度上呈随机分布,在 0.2 ~0.4 m 尺度上呈聚集分布,在 1.4 ~1.6 m 尺度上呈均匀分布;覆沙地样方 2 中,黑果枸杞在 0 ~0.2 m 和 0.5 ~2.5 m 的尺度上呈随机分布,在 0.2 ~0.5 m 的尺度上呈聚集分布(图 3)。

(2) 盐碱地样方 1 和样方 2 中,黑果枸杞在 0 ~2.5 m 的尺度上均呈随机分布(图 4)。

(3) 砾石地样方 1 中,黑果枸杞在 0 ~0.2 m 和 1.3 ~1.7 m 尺度上呈随机分布,在 0.2 ~1.3 m 和 1.7 ~2.5 m 尺度上呈聚集分布;样方 2 中,黑果枸杞在 0 ~2 m 尺度上呈随机分布,在 2 ~2.5 m 尺度上呈聚集分布(图 5)。

(4) 固定或半固定沙丘地样方 1 中,黑果枸杞在 0 ~0.4 m 尺度上呈随机分布,在 0.4 ~2.5 m 尺度上呈聚集分布;样方 2 中,黑果枸杞在 0 ~1.4 m 尺度上呈随机分布,在 1.4 ~2.5 m 尺度上呈聚集分布(图 6)。

3 讨 论

植被群落格局的形成过程可能受不同的原因和力量所作用,例如种群自身的生物学特征,种间、种内对水分和养分的竞争,食草动物及环境异质性等[26-29]。种群的聚集分布体现了种群内相互有利的生态关系,均匀分布体现了种群内相互排斥的生态关系,随机分布则表明种群内没有明确的生态关系[30]。

(1) 在石羊河下游民勤绿洲外围不同立地类型黑果枸杞群落中,因受环境条件的限制,植被种类较少,4 个不同立地类型的样地中共出现植物种 28 种,分属 14 科 24 属,各立地群落植物的种类主要集中在藜科、蒺藜科、菊科及禾本科 4 科,其他科物种多为单属单科,无乔木层和高大灌木层,矮小的灌木层占有绝对优势[31]。

(2) 从不同立地类型来看,黑果枸杞在覆沙地和固定或半固定沙丘地中为群落的优势种,在砾石地为群落的亚优势种,在盐碱地中为群落的主要伴生种。从不同立地类型黑果枸杞种群生物学特征来看(表 2),黑果枸杞的株数表现为:盐碱地中最多,覆沙地次之,固定或半固定沙丘地和砾石地中最少。黑果枸杞的株高表现为:固定或半固定沙丘地中最高,盐碱地次之,覆沙地和砾石地最低。黑果枸杞的冠幅表现为:固定或半固定沙丘地中最大,盐碱地次之,砾石地和覆沙地最小。分析认为:盐碱地为 40 a 前的退弃耕地,因早期的灌溉和耕种,土壤条件相对较好,适宜植物生长,群落内出现了 13 种植物,物种较多,种间竞争加剧,并且黑果枸杞株数最多、密度最大,存在种内竞争,使其株高和冠幅均不突出;而固定或半固定沙丘地中仅出现植物 7 种,植物种类相对较少,植物对水分养分的竞争不激烈,有利于黑果枸杞生长,因此,黑果枸杞的株高和冠幅最大,长势最好;覆沙地中也只出现了 7 种植物,但黑果枸杞株数较多,仅次于盐碱地,可能存在种间竞争现象,致使黑果枸杞株高和冠幅偏小;砾石地中黑果枸杞株数虽然最少,但群落中出现了 21 种植物,植物种类最多,对水分竞争激烈,加上砾质地不利于水分贮存,导致黑果枸杞长势相对较差,其株高明显小于其他 3 种立地类型。

(3) 在自然环境中,黑果枸杞存在种子繁殖(有性繁殖)和根蘖繁殖(无性繁殖)两种方式,不同种群繁殖方式可能会对黑果枸杞种群分布产生影响。何文革等[32]研究认为,分布于严酷自然环境中的野生黑果枸杞,受环境和其他因素制约,有性繁殖种子的自然萌发率、成活率、成株率极低;并且在一定范围内,一个黑果枸杞群落单体均为同一母株通过无性根蘖繁殖出的个体构成,而不同母株(种子发育而成的)通过无性繁殖形成的不同群落单体之间的平均距离至少在 10 m 以上,有的甚至超过 100 m,说明黑果枸杞种群主要以无性繁殖为主。本研究区调查表明,民勤绿洲外围黑果枸杞种群株(丛)多为母株通过根蘖繁殖的方式长出新个体,群落周围很少有种子繁殖的植株。这也说明在石羊河下游民勤绿洲外围的荒漠地段,无性繁殖是黑果枸杞种群的主要繁殖方式。

(4) 在干旱和半干旱区,水分是植物生长的主要限制因子,对其分布形态和分布格局有重要的影响[33]。① 在黑果枸杞株数较少的固定或半固定沙丘地中,由于样地为沙质土壤,条件相对较差,物种较少,为了充分利用土壤水分,提高存活率,黑果枸杞个体之间需要高度协同,因此,个体之间以正相关关系为主[30,34],种群出现聚集趋势,并在较大尺度(2 ~2.5 m)呈现聚集分布;② 在砾石地中,植物种

chinaXiv:201909.00123v1

ChinaXiv合作期刊

类最多,对水分竞争激烈,激烈的种间竞争使黑果枸杞分布株数较少,且分散,为了充分利用土壤养分和水分,黑果枸杞个体之间需进行协调,个体之间以正相关关系为主,分布格局与固定或半固定沙丘地类似,呈现聚集分布;③ 在覆沙地中,由于土壤条件较好,在较小尺度上(0.3 ~0.5 m),黑果枸杞个体之间的正向关系依然存在,因此呈现聚集分布,而随着尺度增大,种内个体间的正向关系逐渐变为负向的竞争关系,种群发生自疏,聚集趋势逐渐消失,种群也由聚集分布变为随机分布;④ 盐碱地土壤条件好,虽然植被种类较多,但黑果枸杞在物种间竞争力较强,属于亚优势种,再加上黑果枸杞株数最多,群落内出现较为剧烈的种间和种内竞争,新个体较难生存,老个体得不到充足养分和水分,使其逐渐退化和死亡,致使盐碱地中黑果枸杞聚集趋势下降,种群表现为完全的随机分布。

在以往的文献中,尚无关于黑果枸杞空间格局的调查与研究,本研究对石羊河下游民勤绿洲外围不同立地类型中黑果枸杞在微观尺度下的点格局分布进行调查,并对其成因进行分析,丰富了黑果枸杞种群分布格局的研究内容。但是,植被的空间分布不仅与空间尺度有关,而且与诸多因素有关[35],因此,在以后的研究中,有必要探究其他因素与黑果枸杞空间格局的关联性,以便更好地描述黑果枸杞种群的动态变化和分布规律。

4 结 论

石羊河下游民勤绿洲外围不同立地类型黑果枸杞群落中,植被物种数为:砾石地 > 盐碱地 > 固定或半固定沙丘地、覆沙地,研究区植物群落结构比较简单,科属组成分散。黑果枸杞在不同立地类型群落中地位不同,但总体优势较为明显,对群落结构、生态系统功能及稳定性具有重要作用。

在 4 个立地类型样地中,黑果枸杞株数在盐碱地中最多,覆沙地次之,固定或半固定沙丘地和砾石地中最少;而平均株高由高到低依次是固定或半固定沙丘地、盐碱地、覆沙地和砾石地;平均冠幅分布与平均株高类似。

在 4 个立地类型样地中,固定或半固定沙丘地和砾石地中的黑果枸杞呈现聚集分布;覆沙地中,黑果枸杞在较小尺度(0.2 ~0.5 m)呈现聚集分布,在较大尺度(1.5 ~2.5 m)呈现随机分布;盐碱地中,黑果枸杞种群表现为完全的随机分布。黑果枸杞的空间分布格局与其株数、株高和冠幅等生物学特征分布相符合。

参考文献(References):

[1] 林丽,张裴斯,晋玲,等. 黑果枸杞的研究进展[J]. 中国药房,2013,47(24):4 493 –4 496.[Lin Li,Zhang Peisi,Jin Lin,et al. Research progress of *Lycium ruthenicum*[J]. China Pharmacy,2013,47(24):4 493 –4 496.]

[2] 杨建民,黄万荣. 经济林栽培学[M]. 北京:中国林业出版社,2004.[Yang Jianmin,Huang Wanrong. Economic Forest Culture[M]. Beijing:China Forestry Press,2004.]

[3] 王桔红,陈文. 黑果枸杞种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. 生态学杂志,2012,31(4):804 – 810.[Wang Juhong,Cheng Wen. Responses of seed germination and seedling growth of *Lycium ruthenicum* to salt stress[J]. Chinese Journal of Ecology,2012,31(4):804 –810.]

[4] 可静,李进,吕海英,等. 不同条件下黑果枸杞叶片气孔开度和超微结构的变化[J]. 干旱区研究,2017,34(6):1 362 –1 370.[Ke Jing,Li Jin,Lv Haiying,et al. Change of stomatal aperture and ultrastructure on *Lycium ruthenicum* Murr. leaves under different conditions[J]. Arid Zone Research,2017,34(6):1 362 – 1 370.]

[5] 夏园园,莫仁楠,曲玮. 黑果枸杞化学成分研究进展[J]. 药学研究,2015(5):1 599 – 1 601.[Xia Yuanyuan,Mo Rennan,Qu Wei. Research progress in chemical constituents of *Lycium ruthenicum* Murr.[J]. Progress in Pharmaceutical Sciences,2015(5):1 599 –1 601.]

[6] 罗华,林丽,晋玲,等. UV 法测定黑河流域不同产地黑果枸杞中花青素的含量[J]. 现代中药研究与实践,2015,29(3):24 –27.[Luo Hua,Lin Li,Jin Ling,et al. Determination of anthocyanin in *Lycium ruthenicum* Murr. from different producing area in Hei River Basin by UV[J]. Research and Practice on Chinese Medicines,2015,29(3):24 –27.]

[7] Tao W,Lv H,Wang F,et al. Characterization of polyphenols from Lycium ruthenicum fruit by UPLC-Q-TOF/MSE and their antioxidant activity in Caco –2 Cells[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry,2016,64(11):2 280 –2 288.

[8] Liu Y,Hou L Y,Li Q W,et al. The effects of exogenous antioxidant germanium(Ge) on seed germination and growth of *Lycium ruthenicum* Murr. subjected to NaCl stress[J]. Environmental Technology,2016,37(8):909 –919.

[9] 彭飞,黄翠华,尤全刚,等. 种植黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)对盐渍土盐分分布的影响[J]. 中国沙漠,2013,33(5):1 406 –1 412.[Peng Fei,Huang Cuihua,You Quangang,et al. Effects of plantation of *Lycium ruthenicum* on the soil salt distribution in the Minqin Basin[J]. Journal of Desert Research,2013,33(5):1 406 –1 412.]

[10] Zilić S,Serpen A,Akıllıoğlu G,et al. Phenolic compounds,carotenoids,anthocyanins,and antioxidant capacity of colored maize

chinaXiv:201909.00123v1

ChinaXiv合作期刊

(*Zea mays* L.) kernels[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry,2012,60(5):1 224 – 1 231.

[11] 郭春秀,姚拓,马俊梅,等. 石羊河下游不同类型荒漠草地黑果枸杞群落结构及物种多样性特征[J]. 草地学报,2017,25(3):529 – 537. [Guo Chunxiu, Yao Tuo, Ma Junmei, et al. Characteristics and species diversity of *Lycium ruthenicum* on different types of desert grassland in Shiyang River[J]. Acta Agrestia Sinica,2017,25(3):529 – 537.]

[12] 杨洪晓,张金屯,吴波,等. 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析[J]. 植物生态学报,2006,30(4):563 – 570. [Yang Hongxiao, Zhang Jintun, Wu Bo, et al. Point pattern analysis of *Artemisia ordosica* population in Mu US Sandy Land[J]. Journal of Plant Ecology,2006,30(4):563 – 570.]

[13] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学报,1998,22(4):344 – 349. [Zhang Jintun. Analysis of spatial point pattern for plant species[J]. Acta Phyloecologica Sinica,1998,22(4):344 – 349.]

[14] Ripley B D. Modelling spatial pattern[J]. Journal of the Royal statistical Society(Series B),1977,39:17 – 212.

[15] 周俊菊,张恒玮,张利利,等. 综合治理前后民勤绿洲景观格局时空演变特征[J]. 干旱区研究,2017,34(1):79 – 87. [Zhou Junju, Zhang Hengwei, Zhang Lili, et al. Spatiotemporal evolution of landscape pattern in the Minqin Oasis before and after implementing the comprehensive management[J]. Arid Zone Research,2017,34(1):79 – 87.]

[16] 张莹花,刘世增,纪永福,等. 石羊河中游河岸芦苇(*Phragmiles auslralis*)群落空间格局[J]. 中国沙漠,2016,36(2):342 – 348. [Zhang Yinghua, Liu Shizeng, Ji Yongfu, et al. Spatial distribution pattern and spatial association of *Phragmites australis* in the middle reaches of Shiyanghe River[J]. Journal of Desert Research,2016,36(2):342 – 348.]

[17] 冯玉婷,常禹,胡远满,等. 大兴安岭呼中森林景观的空间点格局分析[J]. 生态学杂志,2012,31(4):1 016 – 1 021. [Feng Yuting, Chang Yu, Hu Yuanman, et al. Spatial point pattern analysis on forest landscapes in Huzhong of Great Xing'an Mountains, Northeast China[J]. Chinese Journal of Ecology,2012,31(4):1 016 – 1 021.]

[18] 于春堂,杨晓晖,尹伟伦,等. 鄂尔多斯高原北缘唐古特白刺灌丛沙包的空间分布格局分析[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):39 – 45. [Yu Chuntang, Yang Xiaohui, Yin Weilun, et al. The spatial pattern of *Nitraria tangutorum* shrub islands in the North of Ordos Plateau[J]. Journal of Beijing Forestry University,2008,30(5):39 – 45.]

[19] 杨帆,王雪芹,何清,等. 绿洲 – 沙漠过渡带柽柳灌丛沙堆形态特征及空间分布格局[J]. 干旱区研究,2014,31(3):556 – 563. [Yang Fan, Wang Xueqin, He Qing et al. Morphological features and spatial distribution pattern of *Tamarix ramosissima* Nebkhas in an Oasis-desert Ecoton[J]. Arid Zone Research,2014,31(3):556 – 563.]

[20] 高万林,曾新德,马存世,等. 民勤荒漠草地退化原因及治理对策[J]. 甘肃林业科技,2011,36(4):24 – 27. [Gao Wanlin, Zeng Xinde, Ma Cunshi, et al. Degradation causes and control countermeasures of desert grassland in Minqin[J]. Joural of Gansu Forestry Science and Technology,2011,36(4):24 – 27.]

[21] Curtis J T, Mcintosh R P. An upland forest continuum in the prairie: Forest border region of Wisconsin[J]. Ecology,1951,32(3):476 – 496.

[22] Shannon C E. The Mathematical Theory of Communication[M]. ACM,1963.

[23] Kempton R A, Pielou E C. Ecological diversity[J]. Applied Statistics,1976,25(3):306.

[24] Adrian B, Rolf T. Spatstat: An R package for analyzing spatial point patterns[J]. Journal of Statistical Software,2005,12(6):1 – 42.

[25] Everitt B S, Hothorn T. A Handbook of Statistical Analyses Using R[M]. New York: Chapman & Hall,2006.

[26] 傅星,南寅镐. 科尔沁沙地盐生草甸主要植物群落种群格局的研究[J]. 应用生态学报,1992,3(4):313 – 320. [Fu Xing, Nan Yinghao. Population patterns of main communities on halomorphic meadow of Keerqin Sandy Land[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1992,3(4):313 – 320.]

[27] 刘振国,李镇清. 不同放牧强度下冷蒿种群小尺度空间格局[J]. 生态学报,2004,24(2):227 – 234. [Liu Zhenguo, Li Zhenqing. Fine-scale spatial pattern of *Artemisia frigida* population under different grazing intensities[J]. Acta Ecologica Sinica,2004,24(2):227 – 234.]

[28] 王本洋,余世孝. 种群分布格局的多尺度分析[J]. 植物生态学报,2005,29(2):35 – 241. [Wang Benyang, Yu Shixiao. Multi-scale analyses of population distribution patterns[J]. Acta Phytecologica Sinica,2005,29(2):35 – 241.]

[29] Klaas B A, Danielson B J. The tempo and mode of gopher mound production in a tallgrass prairie remnant[J]. Ecography,2010,23(2):246 – 256.

[30] 赵成章,高福元,石福习,等. 高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应[J]. 生态学报,2011,31(22):6 688 – 6 695. [Zhao Chengzhang, Gao Fuyuan, Shi Fuxi, et al. Melica przewalskyi population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland[J]. Acta Phytoecologica,2011,31(22):6 688 – 6 695.]

[31] 张元恺,张杰,姚泽. 民勤沙区绿洲 – 荒漠过渡带典型植被群落物种多样性特征分析[J]. 中国农学通报,2012,28(28):1 – 7. [Zhang Yuankai, Zhang Jie, Yao Ze. Analysis on the species diversity characteristics of typical plant communities at Desert-Oasis Ecotone in Minqin Desert[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2012,28(28):1 – 7.]

[32] 何文革,那松曹克图,吾其尔,等. 新疆焉耆盆地黑果枸杞自然分布特点及其生物特性[J]. 中国野生植物资源,2015(4):59 – 63. [He Wenge, Nasongcaoketu, Wuqier, et al. Natural distribution and biological characteristics of *Lycium ruthenicum* in Yanqi Basin of Xinjiang[J]. Chinese Wild Plant Resources,2015(4):59 – 63.]

[33] Nobel P. Root distribution and seasonal production in the northwestern Sonoran Desert for a C_3 subshrub, a C_4 bunchgrass, and a

chinaXiv:201909.00123v1

ChinaXiv合作期刊

CAM leaf succulent〔J〕. American Journal of Botany, 1997, 84(7):949 – 955.

〔34〕蔡飞. 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究〔J〕. 林业科学,2000,36(3):67 – 72.〔Cai Fei. A study on the structure and dynamics of *Cyclobalanopsis glauca* population at hills around west lake in Hangzhou〔J〕. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(3):67 – 72.〕

〔35〕张兰,张华,赵传燕. 黑河下游胡杨种群的点格局分析〔J〕. 应用生态学报,2014,25(12):3 407 – 3 412.〔Zhang Lan, Zhang Hua, Zhao Chuanyan, et al. Point pattern analysis of *Populus euphratica* population in the lower reaches of Heihe River〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(12):3 407 – 3 412.〕

Spatial Distribution Pattern of *Lycium ruthenicum* in Different Site Types in Periphery of the Minqin Oasis

MA Jun-mei[1,2], GUO Chun-xiu[1,2], HE Fang-lan[2], JIN Hong-xi[2], ZHAO Peng[1,2], MAN Duo-qing[2], ZHANG Jin-chun[2]

(1. *State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating*, *Wuwei* 733000, *Gansu*, *China*;
2. *Gansu Provincial Institute of Desert Control Research*, *Lanzhou* 730000, *Gansu*, *China*)

Abstract: The purposes of this study were to investigate the community characteristics and biological characteristics of *Lycium ruthenicum* in different site types in periphery of the Minqin Oasis. The biological characteristics of *L. ruthenicum* community included the plant number, height, canopy and distribution pattern in four different site types, and the Ripley's *K* function in the spatial point pattern analysis method was used to analyze the spatial distribution pattern of *L. ruthenicum*. The results are as follows: ① Number of plant species in the four site types was in an order of gravel land > saline and alkaline land > fixed or semi-fixed desert and sandy land. Structure of the plant community was relatively simple; ② Number of *L. ruthenicum* plants was the most in the saline and alkaline land, then in the sandy land, and that in the gravel land and fixed or semi-fixed desert were the least. The average plant height was in an order of the fixed or semi-fixed desert > saline and alkaline land > sandy and gravel land, and the distribution of average canopy was similar to that of average plant height; ③ In the four plots, *L. ruthenicum* plants were distributed in a clustering way in the fixed or semi-fixed desert and gravel land; in the sandy desert, however, they were distributed in a clustering way on a small scale (0.2 – 0.5 m) but in a random way on a larger scale (1.5 – 2.5 m); in saline and alkaline land, they were distributed in a completely random way.

Key words: site type; *Lycium ruthenicum*; community; distribution pattern; Ripley's *K* function; Minqin Oasis

chinaXiv:201909.00123v1